

IV российская молодежная научная школа-конференция  
«Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи»  
Секция 2. Эффективная энергетика

## ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОЭМИССИОННОГО МАТЕРИАЛА С ПОМОЩЬЮ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ В РЕЖИМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГОРЕНИЯ

Закусилов В.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

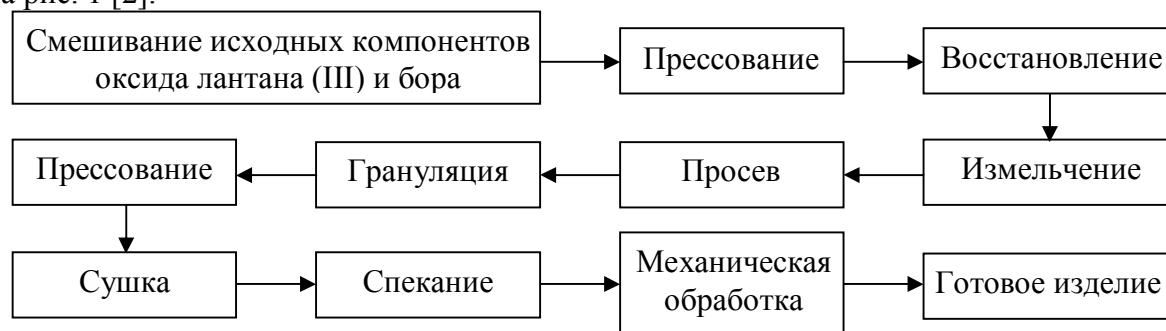
Развитие ускорительной техники требует вмешательства множества областей науки, необходимых для решения проблем различного характера. Одной из таких проблем является обеспечение более эффективной работы вакуумных установок генерирующих потоки отрицательно заряженных частиц. Основным элементом подобных установок является катодный узел, от материала которого зависят такие эксплуатационные характеристики, как: работа выхода, температура плавления, плотность тока эмиссии, электропроводность, механическая прочность; при этом наибольшее влияние на эффективность работы оказывает малая величина работы выхода. В таблице 1 [1–3] приведена сравнительная характеристика некоторых материалов применяемых для производства катодов.

**Таблица 1.** Сравнение характеристик свойств материалов катодов

Материал катод	Работа выхода, эВ	Температура плавления, К	Температурный интервал, К	Скорость испарения, кг/(м <sup>2</sup> ·с)	Плотность тока эмиссии, А/см <sup>2</sup>
W	7,98	3653	2000	$10^{-7}$ – $4 \cdot 10^{-3}$	0,1–1
Ta	7,88	3290	2270–2570	$3 \cdot 10^{-8}$ – $3 \cdot 10^{-7}$	0,1–1
Nb	6,87	2741	2270–2570	$3 \cdot 10^{-7}$ – $3 \cdot 10^{-6}$	0,1–1
W–Th	3,36	2028	1970–2070	$5 \cdot 10^{-11}$ – $5 \cdot 10^{-10}$	2–10
TiC	3,60	3140	2070–2270	$10^{-6}$ – $10^{-5}$	0,3–3
ThO <sub>2</sub>	3,51	3050	1870	$10^{-8}$	2–4
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,49	2415	1770	$10^{-8}$	0,05
LaB <sub>6</sub>	2,68	2740	1670–2270	$3 \cdot 10^{-9}$ – $3 \cdot 10^{-4}$	600–1980

Анализ данных приведённых в таблице 1 показывает, что гексаборид лантана обладает рядом преимуществ перед другими материалами и имеет высокие эмиссионные характеристики, а также устойчив к ионной бомбардировке в агрессивных газовых средах и способен работать в условиях пониженного вакуума [2].

Изготовление катодов из гексаборида лантана с использованием методов порошковой металлургии включает ряд последовательных операций представленных на рис. 1 [2].



**Рис. 1.** Технологическая схема изготовления катодов из гексаборида лантана

Несмотря на наличие разнообразных технологий изготовления катодов из гексаборида лантана  $\text{LaB}_6$  существует ряд нерешённых проблем связанных с используемыми методами получения, а именно: отравление конечного продукта в результате процесса синтеза; использование технологически сложного оборудования; а также большие затраты энергии на длительное проведение синтеза и отжига продуктов [2].

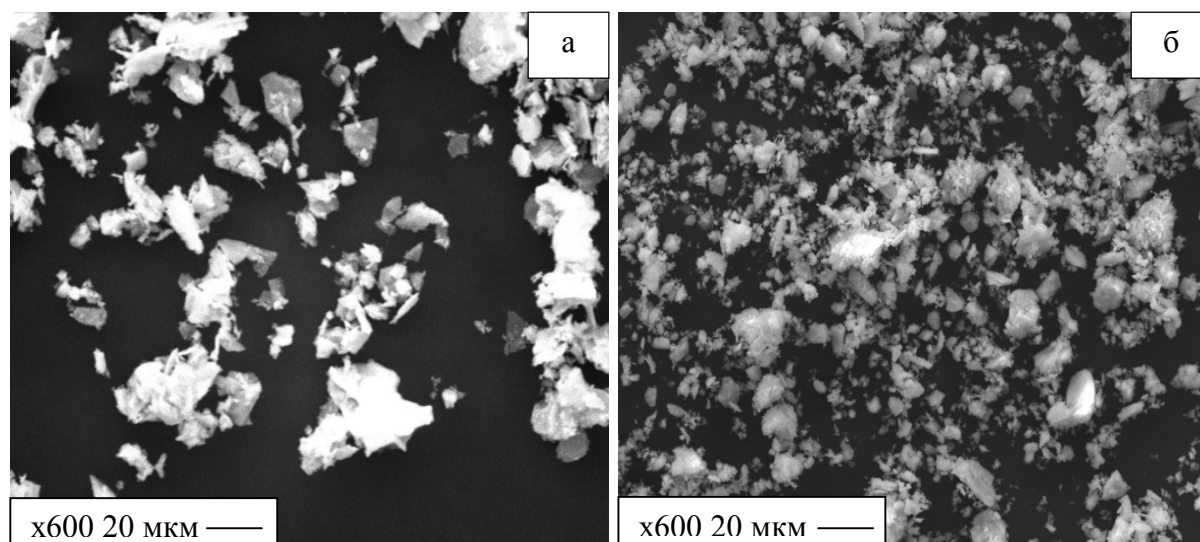
Перспективным способом получения гексаборида лантана  $\text{LaB}_6$  лишенным вышеперечисленных недостатков является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), получивший своё название за счёт самоподдерживающегося послойного распространения волны горения, образованной локальным инициированием, с последующим получением твёрдых продуктов [4].

Для получения катода из гексаборида лантана с высокими эксплуатационными характеристиками необходима предварительная механическая активация шихты, позволяющая обеспечить достаточную микронапряжённость системы и размер частиц для протекания равномерного фронта волны горения.

Целью работы является изучение влияния механической активации на параметры исходной смеси реагентов для получения высокоэмиссионных материалов на основе гексаборида лантана методом СВ-синтеза.

В исследовании были использованы химически чистые порошки оксида лантана (III) и бора ( $\text{La}_2\text{O}_3+\text{B}$ ). Реагенты были тщательно перемешаны в кубическом смесителе и подвергнуты механическому воздействию в шаровой планетарной мельнице типа АГО-2С. В качестве мелющих тел были использованы металлические шары диаметром 4 мм, а соотношение массы шаров к массе обрабатываемого материала составляло 10/1. Для изучения влияния параметров механоактивации были проведены эксперименты с изменением частоты вращения активирующей мельницы в интервале от 10 до 40 Гц и варьированием времени от 5 до 30 минут.

На рис. 2 представлены фотографии порошков (сделанные с помощью растрового электронного микроскопа Philips SEM 515), наглядно демонстрирующие изменение размера частиц до и после механического воздействия в мельнице-активаторе.

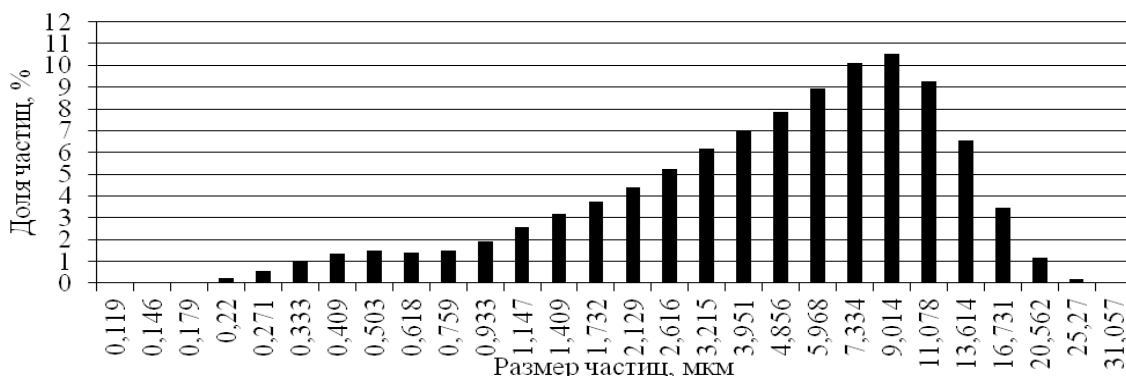


**Рис. 2.** Снимки порошков смеси ( $\text{La}_2\text{O}_3+\text{B}$ ) при увеличении в 600 раз:  
а – до механоактивации; б – после механоактивации  $f=30$  Гц  $t=10$  мин

Проанализировав полученные снимки можно легко заметить, что после проведения механической активации размер частиц значительно уменьшился.

Для численного определения изменений среднего линейного размера частиц до и после механической активации был проведен анализ гранулометрического состава шихты с использованием лазерного анализатора размера частиц SALD-7101. Анализ полученных распределений по размерам показал, что при увеличении частоты вращения активирующей мельницы с 10 до 30 Гц наблюдается уменьшение среднего линейного размера, однако после увеличения частоты до 40 Гц, происходит укрупнение частиц и образование агломератов препятствующих равномерному распределению фронта волны горения.

Изучение влияния времени механической активации показало, что наименьший средний линейный размер частиц 6,3 мкм достигается при частоте вращения 30 Гц в течение 25 минут. На рис. 3 представлено распределение по размерам при механической активации в режиме  $f=30$  Гц,  $t=25$  мин.



**Рис. 3.** Гистограмма распределения частиц смеси ( $\text{La}_2\text{O}_3+\text{B}$ ) по размерам в режиме активации  $f=30$  Гц,  $t=25$  мин

После проведения механической активации в различных режимах образцы смеси порошков ( $\text{La}_2\text{O}_3+\text{B}$ ) были подвергнуты СВ-синтезу в специальной установке, а полученный продукт был отправлен для проведения рентгенофазового анализа, по результатам которого удалось установить, что максимальный выход химической реакции с получением 93 масс.% гексаборида лантана наблюдается при наименьшем среднем линейном размере частиц 6,3 мкм, полученных в результате механического воздействия с частотой 30 Гц в течение 25 минут.

**Выводы.** В настоящей работе выявлено, что в результате проведения предварительной механической активации реагентов происходит диспергирование частиц, приводящее к увеличению площади контакта частиц, что повышает скорость протекания реакции и улучшает равномерность протекания волны горения, способствуя получению однородных и цельных образцов. Для системы ( $\text{La}_2\text{O}_3+\text{B}$ ) получены экспериментальные зависимости между параметрами механической активации и свойствами конечного продукта. Установлены параметры механического воздействия ( $f=30$  Гц,  $t=25$  минут), при которых наблюдается максимальный выход химической реакции с получением 93 масс.% гексаборида лантана.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фоменко В.С. Эмиссионные свойства материалов – 4-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наукова думка. – С. 167 – 187.
2. Высокоэффективный эмиттер электронов на основе гексаборида лантана / Керсанов В. С., Малахов Н. П. Морозов В. В. И др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 152 с.

3. Управление процессом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза двухкомпонентных борсодержащих материалов ядерно-энергетических установок / Демянюк Д.Г., Долматов О.Ю., Исаченко Д.С., Семенов А.О. // Известия ТПУ. – 2010. №4. – С. 23 – 29.
4. Мержанов А. Г., Мукасян А. С. Твердопламенное горение. – М.: Тороус пресс, 2007. – 336 с.

## **ЖИДКОСОЛЕВЫЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ СПАСЕНИЕ ОТ ОКИСЛЕНИЯ ОКЕАНА**

Сабитова Р.Р.

Государственный университет имени Шакарима, Республика Казахстан, г. Семей

### **Введение**

На протяжении десятков миллионов лет океаны Земли сохранили относительно стабильный уровень кислотности. Именно в пределах этой устойчивой окружающей среды богатая и разнообразная жизнь в морях возникла и процветала. Но исследования показывают, что этот древний баланс в настоящее время нарушен из-за стремительного падения показателя кислотности pH. Его причина кроется в поглощении океанами около трети созданных человеком выбросов углекислого газа, это примерно 22 млн. тонн в день. [1]

За последние 300 миллионов лет, pH океана была слегка щелочной, в среднем около 8,2. Сегодня она составляет около 8,1. Падение на 0,1 единицы pH представляет собой 25-процентное увеличение кислотности за последние два столетия. Прогнозы показывают, что к концу этого века продолжающиеся выбросы могут снизить pH океана еще на 0,5 единиц. Формирующие панцирь животные, включая кораллы, устрицы, креветки, омары, многие планктонные организмы, и даже некоторые виды рыб могут серьезно пострадать. Это скажется не только на морских обитателях, но и на той части человечества, главным источником заработка и питания которого они являются.

Не меньшее беспокойство вызывает тот факт, что океаны, продолжающие поглощать больше углекислого газа, могут уменьшить свою фильтрующую производительность. Это означает, что вырабатываемой двуокиси углерода будет становиться больше в атмосфере, способствуя дальнейшему усугублению глобального изменения климата. [2]

Когда углекислый газ растворяется в океане, образуется угольная кислота ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), диссоциирующая на карбонат ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) и гидрокарбонат-ионы ( $\text{HCO}_3^-$ ) с количественным доминированием последних. Гидрокарбонаты – неустойчивые соединения: при дефиците растворенного углекислого газа они разлагаются до  $\text{CO}_2$  и подщелачивают воду ( $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{OH}^- + \text{CO}_2$ ). Эта особенность объясняет слабощелочное динамическое равновесие, сложившееся в Мировом океане за сотни миллионов лет, которое обеспечивается подщелачивающим действием океанических солей, в частности, растворенных в морской воде гидрокарбоната кальция ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) и магния, ослабляющих подкисление воды  $\text{CO}_2$ , то есть играющих роль буфера.

Карбонатный буфер океана гасит подкисляющее действие  $\text{CO}_2$ , поддерживая pH морской воды на слабощелочном уровне (чуть выше 8), и это очень стабильный показатель. Но при значительном увеличении концентрации  $\text{CO}_2$  эффективность